

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 2(74), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

**МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ**

Оленин М. И., Горынин В. И., Федосеев М. Л. Некоторые аспекты повышения хладостойкости сталей перлитного класса ..... 5

Филимонов Г. Н., Добрынина М. В. Построение диаграммы структурных состояний аустенитной стали типа X18H10T после горячей деформации ..... 13

Григоренко В. Б., Жегина И. П., Исходжанова И. В., Морозова Л. В. Влияние термической обработки и метода переплава на микроструктуру и свойства мартенситно-старееющей стали типа H18K9M5T ..... 21

Федосеев М. Л., Пташник А. В., Петров С. Н., Барахтин Б. К., Уткин Ю. А. Выбор режимов термической обработки сплава 20X21H43C2B2 по данным высокотемпературной рентгенографии ..... 30

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Кузнецова Н. В., Осмаков А. С., Дятлова Я. Г., Орданьян С. С. Керамика на основе  $Si_3N_4$  с наноразмерной составляющей ..... 37

Перевислов С. Н., Чупов В. Д. Реакционно-спеченные композиционные материалы на основе нитрида и карбида кремния ..... 45

Алеутдинова М. И., Фадин В. В. Изменение характеристик скользящего контакта металлических графитсодержащих композитов под действием электрического тока и расплава Pb-Sn в контактном пространстве ..... 53

Попович А. А., Ван Цин Шен. Исследование технологии получения катодного материала на базе системы Li-Fe-Si-O ..... 59

Гостищев В. В., Химухин С. Н., Теслина М. А., Астапов И. А. Влияние условий получения порошков вольфрама из ионных расплавов на крупность порошков ..... 64

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Гоголева О. В., Охлопкова А. А., Никифоров Л. А., Васильев С. В. Триботехнические материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена ..... 68

Седакова Е. Б. Особенности структуры композитов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена с наноразмерными наполнителями ..... 75

**СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

Пугачева Н. Б., Трушина Е. Б., Пугачева Е. И. Лазерная сварка титанового сплава Ti-5Al-2,5Sn83 ..... 93

Беляев С. Н. Математическое моделирование процессов деформирования и технологические особенности диффузионной сварки прецизионных конструкций с использованием давления термического натяга ..... 93

**КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ**

Тюрина С. А., Крашенинников А. И., Пупченков Г. С. Новая технология гидроабразивной очистки стальной поверхности с использованием эффекта дилатансии ..... 100

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ**

Данилов Г. И., Ильин А. В., Калинин Г. Ю., Федорова Т. А. Особенности деформирования и разрушения азотсодержащей стали аустенитного класса в условиях малоциклового нагружения ..... 107

Гриневич А. В., Луценко А. Н., Каримова С. А. Исследование остаточной усталостной долговечности алюминиевого сплава В95пчТ1 после экспозиции в различных условиях ..... 118

## **РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

*Марголин Б. З., Минкин А. И., Смирнов В. И., Сорокин А. А., Кохонов В. И. Влияние нейтронного облучения на скорость роста усталостных трещин в аустенитной стали 08X18H10T и металле ее сварных соединений* ..... 123

## **ИСПЫТАНИЯ, ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ**

*Федотов М. Ю., Гончаров В. А., Шиенок А. М., Сорокин К. В. Исследование изгибных деформаций углепластика оптоволоконными сенсорами на брэгговских решетках* ..... 139

## **МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ, КОНСТРУКЦИЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

*Гуревич Ю. Г., Чудинова Е. А. Структура и свойства композиционного инструментального материала, полученного из стружковых отходов чугуна и стали, после термомеханической обработки* ..... 148

**Рефераты публикуемых статей** ..... 153

**Авторский указатель** ..... 163

**Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов** ..... 165

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.15–194.53:536.485

**Некоторые аспекты повышения хладостойкости сталей перлитного класса.** Оленин М. И., Горынин В. И., Федосеев М. Л. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 5–12.

Проведено комплексное исследование температурно-временных параметров и структурных изменений при старении термоулучшенной крепежной стали перлитного класса марки 25Х1МФ. Показано, что старение при температуре 450°C с выдержкой 5 ч позволяет повысить хладостойкость исследуемой стали более чем в 2,5 раза.

*Ключевые слова:* крепежная сталь перлитного класса, хладостойкость, режим старения.

УДК 669.15–194.56.017.11:621.73.016

**Построение диаграммы структурных состояний аустенитной стали типа Х18Н10Т после горячей деформации.** Филимонов Г. Н., Добрынина М. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 13–20.

Для изучения влияния термомеханических режимов на микроструктуру металла часто используются различные диаграммы состояний. В настоящей работе предпринята попытка построить диаграмму структурных состояний аустенитной стали типа Х18Н10Т применительно к горячей деформации ковкой крупногабаритных заготовок из индивидуального слитка. Построенная диаграмма является схематичной и может стать основой для дальнейшего уточнения и развития исследований в области структурообразования горячедеформированного аустенита. В представленном виде диаграмма может быть использована для выбора оптимальных режимов термопластической обработки.

*Ключевые слова:* диаграмма структурного состояния, горячая пластическая деформация, рекристаллизация.

УДК 669.15–194.55: 669.187.52:621.785

**Влияние термической обработки и метода переплава на микроструктуру и свойства мартенситно-старящей стали типа Н18К9М5Т.** Григоренко В. Б., Жегина И. П., Исходжанова И. В., Морозова Л. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 21–29.

Приведена сравнительная оценка склонности к тепловому охрупчиванию при замедленном охлаждении с температур деформации высокопрочных конструкционных особо низкоуглеродистых мартенситно-старящих сталей типа Н18К9М5Т с добавками редкоземельных металлов и без них, выплавленных методами вакуумного дугового и электронно-лучевого переплава.

В результате термической обработки в структуре сталей формируются зерна 7–9 балла, тонкая структура мартенсита, равномерно расположенные частицы карбидов и карбонитридов. При обработке, имитирующей режим теплового охрупчивания металла с крупнозернистой структурой при нарушении технологического процесса, наблюдали зерна размером 1–2 балла, грубые пакеты мартенсита, пониженную пластичность, выделения карбидов и карбонитридов по границам зерен.

Испытания показали, что сталь, полученная электронно-лучевым переплавом с провоцирующей термической обработкой, имеет более высокий уровень механических свойств, чем сталь, полученная вакуумным дуговым переплавом.

*Ключевые слова:* высокопрочная конструкционная особо низкоуглеродистая мартенситно-старящая сталь, электронно-лучевой переплав, вакуумный дуговой переплав, термическая обработка, тепловое охрупчивание.

УДК 669.018.4:621.785:620.170.152

**Выбор режимов термической обработки сплава 20X21H43C2B2 по данным высокотемпературной рентгенографии.** Федосеев М. Л., Пташник А. В., Петров С. Н. Барахтин Б. К. Уткин Ю. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 30–36.

Проведено исследование жаропрочного модельного сплава 20X21H43C2B2 для дальнейшей оптимизации технологии изготовления. В ходе рентгеноструктурного фазового анализа производились нагрев образца до температуры 900°C и непрерывная регистрация дифракционной картины при этой температуре. Получены картины изменения фазового состава во времени. Также было проведено исследование микроструктур образца до и после испытаний. Было установлено, что G-фаза начинает образовываться на относительно ранних стадиях фазового превращения, при этом исходный карбид ниобия практически растворяется. Эта информация позволит откорректировать режим термообработки в сторону уменьшения времени выдержки при данной температуре.

*Ключевые слова:* рентгеноструктурный фазовый анализ, терморентгенография, жаропрочный сплав, G-фаза.

УДК 666.3/.7

**Керамика на основе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> с наноразмерной составляющей.** Кузнецова Н. В., Осмаков А. С., Дятлова Я. Г., Орданьян С. С. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 37–44.

Получена керамика на основе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> с наноразмерной составляющей методами горячего прессования и SPS-спекания в температурном интервале 1700–1750°C. Исследовано влияние наноразмерной составляющей и способа консолидации на формирование структуры материала и физико-механические свойства. Показано, что керамика, полученная методом SPS-спекания с использованием наноразмерной составляющей в количестве 25%, обладает наиболее высоким уровнем физико-механических свойств. Разработанный материал может быть использован в качестве режущего инструмента.

*Ключевые слова:* керамика на основе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, наноразмерная составляющая, горячее прессование, SPS-спекание, физико-механические свойства.

УДК 666.792

**Реакционно-спекенные композиционные материалы на основе нитрида и карбида кремния.** Перевислов С. Н., Чупов В. Д. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 45–52.

Разработаны материалы на основе композиции нитрид кремния – карбид кремния методом реакционного спекания (азотирования) со следующими механическими свойствами:  $\rho = 2,48 \text{ г/см}^3$ ;  $P = 19,4 \%$ ;  $E_{\text{упр}} = 133 \text{ ГПа}$ ;  $\sigma_{\text{изг}} = 180 \text{ МПа}$ . Показана возможность формования крупногабаритных изделий шликерным литьем с последующим реакционным спеканием.

*Ключевые слова:* композиционные материалы, реакционное спекание, шликерное литье, крупногабаритные изделия.

УДК 621.763:537.3:539.538

**Изменение характеристик скользящего контакта металлических графитсодержащих композитов под действием электрического тока и расплава Pb–Sn в контактном пространстве.** Алеутдинова М. И., Фадин В. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 53–58.

Показано, что присутствие расплава Pb–Sn в контактном пространстве увеличивает электропроводность и износостойкость композитов на основе сталей. Начало катастрофического изнашивания не зависит от присутствия или отсутствия свинца и олова и происходит при одной контактной плотности тока, зависящей от состава композита. Электропроводность и износостойкость композита на основе железа при трении без расплава имеют более высокие численные значения, чем эти же характеристики при трении с расплавом Pb–Sn.

*Ключевые слова:* скользящий электроконтакт, спекенный композит, плотность тока, Оже-спектры, вольтамперная характеристика, интенсивность изнашивания, поверхностный слой.

УДК 661.834:539.213:621.355

**Исследование технологии получения катодного материала на базе системы Li-Fe-Si-O.** Попович А. А., Ван Цин Шен. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 59–63.

Разработана принципиально новая технология получения наноструктурированного катодного материала на основе силиката лития  $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$  для литий-ионных аккумуляторов – кристаллизация из аморфного состояния. При изучении особенностей фазообразования при кристаллизации из аморфной фазы было установлено, что полученная структура представляет смесь аморфной и нанокристаллической структуры с размером нанокристаллов от 4 до 30 нм.

*Ключевые слова:* литий-ионные аккумуляторы; наноструктурированные материалы.

УДК 621.762:669.27

**Влияние условий получения порошков вольфрама из ионных расплавов на крупность порошков.** Гостищев В. В., Химухин С. Н., Теслина М. А., Астапов И. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 64–67.

Экспериментально выявлено влияние состава ионного расплава и удельной поверхности алюминиевого порошка на гранулометрические характеристики порошков вольфрама. Показано, что порошки с наибольшей удельной поверхностью ( $40 \cdot 10^5 \text{ м}^{-2}$ ) формируются в расплаве хлорида калия. По мере измельчения порошка алюминия, применяемого в качестве восстановителя  $\text{WO}_3$ , удельная поверхность порошка вольфрама становится больше. При увеличении удельной поверхности алюминия в 3 раза удельная поверхность порошка вольфрама возрастает в 4–8 раз.

*Ключевые слова:* порошки вольфрама, ионные расплавы, гранулометрические характеристики.

УДК 678.742.2:621.891

**Триботехнические материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена.** Гоголева О. В., Охлопкова А. А., Никифоров Л. А., Васильев С. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 68–74.

Представлены результаты исследований по разработке перспективных полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, содержащих слоистый наполнитель. Установлено, что при повышении пластичности, уменьшении коэффициента трения и температуры в зоне контакта износостойкость повышается на порядок. Это позволит повысить надежность, безопасность и эффективность эксплуатации транспортной техники и технологического оборудования.

*Ключевые слова:* сверхвысокомолекулярный полиэтилен, наполнитель, структурообразование, коэффициент трения.

УДК 678.743.41:621.891

**Особенности структуры композитов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена с наноразмерными наполнителями.** Седакова Е. Б. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 75–82.

Проведен анализ структурных особенностей композитов на основе политетрафторэтилена. Рассмотрены варианты композитов с дисперсными наполнителями как микронных размеров, так и наноразмеров. Установлены отличительные параметры подобных структур. Для композитов триботехнического назначения получены расчетные соотношения для определения нагруженности матрицы, величина которой связана с их износостойкостью.

*Ключевые слова:* износ, композит, политетрафторэтилен, нанонаполнитель, структура, объемная концентрация, поверхностная концентрация.

УДК 621.791.725:669.295

**Лазерная сварка титанового сплава Ti-5Al-2,5Sn.** Пугачева Н. Б., Трушина Е. Б., Пугачева Е. И. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 83–92.

Исследованы особенности формирования сварных соединений сплава Ti–5Al–2,5Sn при лазерной сварке CO<sub>2</sub>-лазером непрерывного действия. Показано, что при выбранном режиме сварки формируется сварной шов шириной 1,2 с коэффициентом формы 2,5 мм при ширине зоны термического влияния не более 1,2 мм. Материал сварного шва представляет собой разориентированные пакеты пластин α-фазы внутри первичных зерен. Характер распределения химических элементов, средних значений микротвердости и модуля Юнга во всех зонах соединений идентичен. Для металла сварных соединений характерны более высокая упругость и низкий уровень пластичности, максимальная пластичность наблюдается в зоне термического влияния. По значениям предела прочности на разрыв и предела выносливости материал сварных соединений соответствует требованиям, предъявляемым к сплаву.

*Ключевые слова:* лазер, сварка, микроструктура, микротвердость, микроиндентирование, модуль Юнга, предел прочности на разрыв, предел выносливости, фрактография.

УДК 621.791.72.011

**Математическое моделирование процессов деформирования и технологические особенности диффузионной сварки прецизионных конструкций с использованием давления термического натяга.** Беляев С. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 93–99.

Рассмотрены технологические аспекты диффузионной сварки в вакууме прецизионных конструкций. Разработана математическая модель процесса сварки в условиях деформирования одноосного сжатия с минимизацией сварочных деформаций на примере роторов электростатического гироскопа. В результате практической реализации процесса диффузионной сварки с использованием разработанных моделей, алгоритмов и технологических схем удалось повысить геометрическую точность роторов электростатического гироскопа с кардановым подвесом.

*Ключевые слова:* электростатический гироскоп, диффузионная сварка, тонкостенный фланцевый ротор, деформирование одноосного сжатия, давление термического натяга.

УДК 621.924.93

**Новая технология гидроабразивной очистки стальной поверхности с использованием эффекта дилатансии.** Тюрина С. А., Крашенинников А. И., Пупченков Г. С. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 100–106.

Разработана технология очистки металлической поверхности с использованием рабочего раствора, обладающего эффектом дилатансии. Увеличение скорости сдвига для данной жидкости приводит к значительному увеличению вязкости. Взаимодействие с поверхностью переходит на иной качественный уровень, т. е. струя жидкости взаимодействует с поверхностью не как жидкость, а как твердое тело. Это позволяет снизить в разы рабочее давление при очистке и сохранить или повысить эффективность процесса.

Данная технология имеет ряд неоспоримых преимуществ перед традиционными методами очистки поверхности металла: более высокая экономическая эффективность по сравнению с воздушно-абразивными способами; использование простых общедоступных материалов, широко распространенных в России; наличие ингибирующего эффекта; улучшенные условия труда обслуживающего персонала, так как происходит частичное связывание пыли водой; экологичность.

*Ключевые слова:* гидроструйная очистка металлических поверхностей, дилатансия.

УДК 669.15'786–194.546:539.431

**Особенности деформирования и разрушения азотсодержащей стали аустенитного класса в условиях малоциклового нагружения.** Данилов Г. И., Ильин А. В., Калинин Г. Ю., Федорова Т. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 107–117.

Исследованы особенности деформирования и разрушения азотсодержащей стали с различными вариантами термической обработки при малоцикловом нагружении. Определено влияние концентраторов напряжений на сопротивление стали циклическим нагрузкам на воздухе и в коррозионной среде.

*Ключевые слова:* азотсодержащая сталь аустенитного класса, малоцикловое нагружение, сопротивление циклическим нагрузкам.



УДК 669.715:539.43:620.194.23

**Исследование остаточной усталостной долговечности алюминиевого сплава В95пчТ1 после экспозиции в различных условиях.** Гриневич А. В., Луценко А. Н., Каримова С. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 118–122.

Рассматривается проблема снижения усталостной долговечности образцов алюминиевого сплава В95пчТ1 после экспозиции в различных коррозионных условиях: в тропической камере, камере соляного тумана, Геленджикском и Московском центрах климатических испытаний.

Представлена кинетика снижения усталостной долговечности. Продемонстрирована возможность нахождения корреляционных связей по определению остаточной усталостной долговечности для сплавов системы Al–Zn–Mg–Cu после натуральных и ускоренных испытаний.

*Ключевые слова:* усталостная долговечность, коррозионные поражения, натурные коррозионные испытания.

УДК 669.15–194.56: 621.039.531:539.421

**Влияние нейтронного облучения на скорость роста усталостных трещин в аустенитной стали 08X18H10T и металле ее сварных соединений.** Марголин Б. З., Минкин А. И., Смирнов В. И., Сорокин А. А., Кохонов В. И. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 123–138.

Выполнены экспериментальные исследования скорости роста усталостных трещин (СРТ) в аустенитной стали 08X18H10T и металле ее сварного шва в исходном состоянии и после нейтронного облучения дозой до 40 сна. Эксперименты проведены при 20, 200 и 290°C. Предложена модель для прогнозирования изменения СРТ под облучением. Показано, что для консервативной оценки СРТ в облученных аустенитных материалах в отсутствии радиационного распухания можно использовать нормативную зависимость СРТ для аустенитных материалов в исходном состоянии с коэффициентом запаса равным трем.

*Ключевые слова:* аустенитная сталь, облучение, скорость роста усталостной трещины.

УДК 678.067:620.174

**Исследование изгибных деформаций углепластика оптоволоконными сенсорами на брэгговских решетках.** Федотов М. Ю., Гончаров В. А., Шиенок А. М., Сорокин К. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 139–147.

Рассмотрен способ контроля изгибных деформаций углепластика с помощью сенсорной системы на основе волоконно-оптических брэгговских решеток. Показаны зависимости изменений резонансной длины волны брэгговской решетки в составе углепластика от механических и температурных воздействий.

*Ключевые слова:* оптоволоконный сенсорный элемент, углепластик, волоконная брэгговская решетка, напряженно-деформированное состояние.

УДК 621.763:669.054.8

**Структура и свойства композиционного инструментального материала, полученного из стружковых отходов чугуна и стали, после термомеханической обработки.** Гуревич Ю. Г., Чудинова Е. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 2(74), с. 148–152.

Разработана технология получения инструментального композиционного материала из стружковых отходов чугуна и стали методом пропитки стальной стружки жидким чугуном и последующейковки и закалки. Исследованы механические свойства полученного материала и показано, что они соизмеримы со свойствами карбидочугуна и карбидостали.

*Ключевые слова:* композиционный инструментальный материал; стружковые отходы чугуна и стали, термомеханическая обработка.